

## METHOD FOR MEASURING ETCH PIT DENSITY OF SEMICONDUCTOR SINGLE CRYSTAL

Patent Number: JP7118100  
Publication date: 1995-05-09  
Inventor(s): IZUMI KIYOSHI  
Applicant(s): SUMITOMO METAL MINING CO LTD  
Requested Patent: ☐ JP7118100  
Application Number: JP19930262017 19931020  
Priority Number(s):  
IPC Classification: C30B33/08; G06T1/00  
EC Classification:  
Equivalents: JP2725567B2

### Abstract

**PURPOSE:** To provide a image processing method for measuring an etch pit density by obtaining binarized images and counting the number of independent graphics while changing plural threshold values within a range where recognition exclusive of the etch pits is not possible with the magnified images of an etching surface.

**CONSTITUTION:** The image processing to obtain the binarized images, to count the number of the independent graphics and to determine (c) to maximize the number of graphics as the threshold value while changing the threshold value to plural stages in the range of (b) to (e) where the etch pits 1, 2 of Fig. are recognized and the ruggedness of the etching surface of all the parts 3 exclusive of the etch pits is not recognized is executed at the time of measuring the etch pit density of the microscopically magnified images of the etching surface of a semiconductor single crystal by image processing. The optimum threshold value at which the number of graphics is maximized varies with every measurement point and is automatically determined. The number of the etch pits is thus exactly determined. Since this method is for automatic measurement, there is no need for operators and individual differences do not arise.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-118100

(43) 公開日 平成7年(1995)5月9日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

C 3 0 B 33/08

G 0 6 T 1/00

識別記号

庁内整理番号

8216-4G

F I

技術表示箇所

G 0 6 F 15/ 64

4 0 0 J

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平5-262017

(22) 出願日

平成5年(1993)10月20日

(71) 出願人

000183303

住友金属鉱山株式会社

東京都港区新橋5丁目11番3号

(72) 発明者

泉 聖志

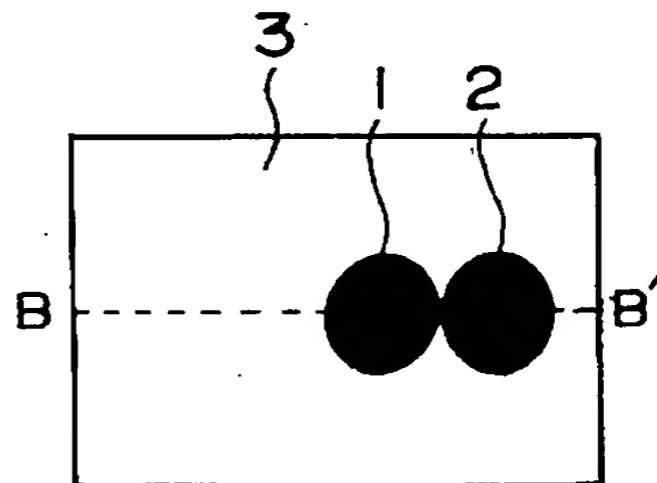
東京都青梅市末広町1-6-1 住友金属  
鉱山株式会社電子事業本部内

(54) 【発明の名称】 半導体単結晶エッチビット密度測定方法

(57) 【要約】

【目的】 画像処理により半導体単結晶エッチビット密度測定する場合に、測定箇所毎に最適なしきい値とエッチビット数を自動的に求めることのできる画像処理方法を提供する。

【構成】 半導体単結晶エッチング面の拡大像に関し、エッチビットを除くすべての部分を認識しない範囲域でしきい値を複数変化させながら二値化画像を得、その独立図形を数え最大のものをエッチビット数とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体単結晶エッチング面の拡大像を、画像処理によりエッチビット密度測定をするに際し、上記拡大像中のエッチビットを除くすべての部分を認識しない範囲域でしきい値を複数変化させながら二値化画像を得、該二値化画像の独立図形を数え、該図形数の最大値のものをエッチビット数とする画像処理を行うことを特徴とする半導体単結晶エッチビット密度測定方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体単結晶におけるエッチング面上のエッチビット密度（EPD）を測定するのに用いられる画像処理方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】化合物半導体であるGaPやGaAs単結晶等の半導体単結晶基板は電子デバイスとして広く用いられている。これらをデバイスに使用するためには、欠陥の少ない良質の単結晶であることが必要である。例えば、引上法等で成長したGaP単結晶インゴットを加工したGaPウェハ－を、基板としてエピタキシャル成長法等で結晶成長させた場合、基板上の欠陥が成長層へ悪影響を及ぼす。

【0003】この結晶欠陥を評価する技術としてEPD測定がある。欠陥の存在する部分は、そのない部分よりも原子間の結合力が弱い。そのために、結晶面を薬液で処理した場合、欠陥部分はそのない部分より速く溶解するので、欠陥部分は穴（ビット）状になる。この穴をエッチビット、このとき用いる薬液をエッチャント、そしてこの操作をエッチングという。エッチング時間が長いとエッチビットは大きくなる。EPD密度により欠陥密度を評価することができる。

【0004】EPD測定は、エッチングした結晶面を顕微鏡等によりエッチビットとして認識できるよう拡大し、像中のエッチビット数を単位面積（通常は平方センチメートル）当たりの個数に換算することによって行われる。

【0005】このエッチビットを数える基本的な手段として、人間が拡大画像を見てエッチビットを認識して個数を数えるという、目視による方法がある。CRTモニターに一辺が200～250μmになるよう拡大した場合には、エッチビット数が100個を超えることも少なくない。また、CRTモニターを見ながら作業となるので、目視による場合には目への負担が大きい。

【0006】エッチビットを数える作業は目視によって行われてきたが、上記の理由で最近ではコンピュータを利用したシステムによる画像処理技術の使用により自動化が進んでいる。目視による方法は、作業者がエッチビットひとつひとつを形状や色合い等で判断するので、信頼性が高い。よって、自動測定するに際し、いかに目視に近い高精度の測定ができるかが問題となる。

【0007】次に画像処理を用いた測定法について説明する。反射型顕微鏡を使用する場合、明視野と暗視野の二つの照明がある。明視野照明の場合、照明光が測定面に対し垂直に落射するので、エッチビットが暗く見え、エッチビットのない部分は明るく見える。これに対して暗視野の場合、照明光が測定面に対しやや斜めに落射するので、照明光が丁度レンズに反射するような傾きを持った面が明るく見える、つまりエッチビットの一部が明るく見え、ビットのない部分は暗く見える。

10 【0008】エッチビットの形状は単結晶の種類や特に面方位により特徴のある形をとるが、例えばGaP単結晶<111>エッチング面の明視野照明による顕微鏡のモノクロ像は図4のようになる。図4では暗い部分ほど黒くなっている。よって、エッチビット部は黒く見える。この画像をより黒くなるほど小さな値になるように白黒の濃度階調に変換すれば、図4の断面AA'は図5のようになる。これを白い部分と黒い部分に分離する境界となる濃度「しきい値」を設定し、しきい値よりも黒い部分のみを取り出すと図6になり、これは図4のエッチビットの部分抽出したものになっている。この方法を二値化といい、図6のような二値化した画像を二値化画像という。二値化画像中の独立図形を数え、エッチビット数とする。

20 【0009】暗視野画像を二値化する場合には、明視野とは逆にしきい値より白い部分を取り出して二値化する。

【0010】しきい値は、重なったエッチビットを分離し、エッチビットを除くすべての部分を取り出さないように設定する。図1のような重なったエッチビットの断面BB'は図2のようになる。図2においてしきい値が（a）の場合、エッチング面の凹凸つまりエッチビットでない部分まで取り出してしまうので、しきい値としては不適である。（b）の場合、重なったエッチビットを1つに認識するので不適である。（c）の場合、エッチビットを2つとして認識できる。（d）の場合、一方のエッチビットしか取り出せず不適である。（e）の場合、エッチビットを1つも取り出せないので不適である。よってしきい値はこの場合（c）になるよう設定する必要がある。

40 【0011】EPD測定は通常、単結晶を加工したウェハ－をエッチングし、このエッチング面上の数点のエッチビットを数えることで行われる。ある測定点の拡大像内ではエッチビットの大きさは同程度になるが、ウェハ－上の測定点が変わる、つまり測定箇所が違うと、それぞれのエッチビット群の大きさに差がでてくる場合がある。単結晶が違うとエッチビット群自体が違ってくるのは勿論のことだが、単結晶からのウェハ－の切り出し位置によっても、ウェハ－毎にエッチビット群の大きさは変化する。引上法による単結晶を引上面に対し平行に切り出すとウェハ－は円形になるが、結晶成長条件やエッ

チング条件により各ウェハー毎のエッチビット群の大きさは変化しやすい。特に引上の開始部と終了部の差は大きい。同一ウェハー内でも、円形ウェハーの半径方向に沿ってエッチビット群の大きさに差がでる。よって、単結晶、ウェハー、更に同一ウェハー上でも、測定点が変われば、エッチビット群自体も変化する。エッチビットの重なりを分離するのに都合のよいしきい値は、図3のようにエッチビットの大きさによって左右されるために、エッチビット群の大きさに最適なしきい値は変わってしまう。

【0012】従来のエッチビット自動測定機では、しきい値は二値化画像を見ながら最適になるよう設定している。自動化のためには、二値化するための最適なしきい値が測定箇所毎にほとんど変化しないような系でEPD測定するのがよい。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のように測定箇所が変わっても最適なしきい値がほとんど変わらない場合については自動測定ができるが、例えば測定箇所によってエッチビットの大きさが変化して最適なしきい値が変化する場合には、すべての測定箇所に一しきい値にすると精度よく測定できず、精度よく測定するために測定箇所が変わる度にしきい値を再設定すると手間がかかり、自動測定には不向きである。

【0014】そこで、本発明の目的は、画像処理によりEPD測定をする場合、測定箇所毎に最適なしきい値とエッチビット数を自動的に求めることができる半導体単結晶エッチビット密度測定に用いる画像処理方法を提供しようとするものである。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明では半導体単結晶エッチング面の拡大像を、画像処理によりEPD測定をするに際し、上記拡大像中のエッチビットを除くすべての部分を認識しない範囲域でしきい値を複数変化させながら二値化画像を得、該二値化画像の独立図形を数え、該図形数の最大値のものをエッチビット数とする画像処理を行う点に特徴がある。

【0016】

【作用】本発明において、上記拡大像中のエッチビットを除くすべての部分を認識しない範囲域とは何かを図1および図2を用いて説明する。図1の1または2の黒い部分はエッチビットであり、1はその右側で2と重なっている。図4の1と2を除く部分が3である。図1の断面BB'である図2においてしきい値が(a)の場合には、エッチビット1と2を1つと認識するばかりか、エッチビットを除くすべての部分3であるエッチング面の凹凸を認識してしまう。しきい値が(b)、(c)、

(d)、(e)の場合には、エッチビットを除くすべての部分3を認識しない。図2において、エッチビットを除くすべての部分を認識しない範囲域とは、しきい値が

(a)よりも小さい範囲、つまり、(b)、(c)、(d)、(e)の範囲を指す。

【0017】上記範囲域でしきい値を複数変化させながら二値化画像とすると、この範囲内の(b)、

(c)、(d)、(e)それぞれで二値化画像を求めることである。この範囲内ならばなるべく多数のしきい値について行う方がよい。

【0018】二値化画像の独立図形を数え、これら図形数の最大値のものをエッチビット数とする方法を説明する。

10 上記範囲域での独立図形は、(b)ではエッチビット1と2が分離できず1つと数え、(c)ではエッチビット1および2を数えることができ、(d)ではエッチビット1のみ数えエッチビット2は数えず、(e)ではエッチビット1も2も数えない。ここで、エッチビットの大きさが同程度ならエッチビット1と2の濃度の極小も同程度なので(d)のようになるしきい値の幅は狭い。

20 【0019】これら図形数の最大値のものをエッチビット数とすれば、上記(b)、(c)、(d)、(e)において図形数の最大値は2個であり、このときのしきい値は(c)の場合となる。これより図形数の最大値が真のエッチビット数に一致し、そのとき最適なしきい値となる。

30 【0020】実際のエッチング面では多数のエッチビットを測定することになるので、この場合について説明する。最適なしきい値は図3のようにエッチビットの大きさに影響される。同じ測定箇所内では、エッチビットの大きさはほぼ同程度になる。エッチビットの大きさが同じであれば最適なしきい値もほとんど変わらないので、エッチビットの重なり部分が何組あっても、それを構成するエッチビットの大きさがほぼ同程度のために、上記範囲で図形数が最大となるしきい値で最適となるので、この最大図形数がエッチビット数になる。

40 【0021】なお、本発明で用いる半導体とは、SiやGe等の単体を含むが、特に結晶欠陥の多いGaAs、GaPやInP等の化合物半導体を指す。エッチング面とは、エッチビットを生じさせる目的でエッチングした単結晶面であるが、エッチビットが生じればよいので、エッチャントには特に指定はない。評価する半導体は主に電子デバイスに使用されるので、エッチング面の結晶方位は主に<100>や<111>等の低方位面である。ここで言う拡大像とは、エッチング面を反射型顕微鏡や微分干渉顕微鏡等のエッチビットが認識できる方法で、エッチビットが判定可能な大きさに拡大した画像のことである。画像処理とは、ビデオカメラ等を介して上記拡大像を専用プロセッサ上で濃度階調データにデジタル変換し、このデータを二値化する等の演算処理を行うことである。

50 【0022】本発明の測定方法を、自動化システムで利用した場合の自動装置概略を図9を用いて説明する。こ

の自動システムは、測定するウェハをウェハートレイ4にセットし、コンピュータ13に測定を開始させると、自動的にEPD密度を計測する。その過程はすべてコンピュータ13が各装置命令を出すことにより実行される。まず第一に搬送ロボット5にウェハートレイ4から測定ウェハをウェハートレイ8に搬送させる。第二に三次元ステージ10を制御させて、測定ウェハを形状認識センサー9下に移動させ、測定ウェハの外形を測定する。第三に外形から測定箇所の座標を計算し、三次元ステージ10を制御して、測定箇所を顕微鏡7の視野に入れる。この顕微鏡像は、カメラ6を通して画像処理用イメージプロセッサ11に濃度階調の画像データとして転送され、さらにここで得られた画像はピクチャーマニター12に投影される。第四に、画像処理用イメージプロセッサ11に画像データを加工することにより焦点の具合を求め、三次元ステージ10を制御し焦点位置を合わせると同時に顕微鏡7の光量も最適化し、最適な画像を得る。第五に、しきい値を変えながら画像処理用イメージプロセッサ11に二値化および独立図形数を求めさせる。本発明の方法でしきい値に対する図形数の変化の様子より、エッチビットを除くすべての部分を認識しない領域を計算した後に、この領域内での図形数の最大値を求め、エッチビット数とし、EPD密度に換算する。第六にこの測定を、例えば図8のように7点すべての測定箇所について行なう。第七にEPD測定結果をフロッピーディスク14やプリンター15等に出力する。最後に搬送ロボット5に測定ウェハをウェハートレイ4に戻す。またウェハートレイ4に測定ウェハを複数枚セットすれば、異なるウェハの連続自動測定も可能となる。

#### 【0023】

【実施例】以下、本発明の方法で、測定箇所によりエッチビット群の大きさの差が大きい系について、EPD測定した結果を示す。測定は、LEC法で引き上げたGaP単結晶を加工したウェハの<111>面を、加熱した王水で10分程度エッチングした後、HFが400ml、HNO<sub>3</sub>が600ml、H<sub>2</sub>Oが800ml、AgNO<sub>3</sub>が1gの割合で混合したエッチャントを60～70℃程度に加熱し、6～7分間エッチングしたものを使用した。このエッチング面を金属顕微鏡の明視野照明下で顕微鏡ランプ光量とビントを合わせて拡大し、拡大像を工業用カメラで画像処理用のイメージプロセッサに0～255までの256段階の白黒の階調データに変換して取り込んだ。この階調データは、CRTモニター上にも投影される。拡大像の一辺が220μmになるように拡大した。

【0024】この画像を二値化する際のしきい値の取り方は、エッチビットを1つも数えないところからエッチング面の凹凸を認識する方向へ少しずつ変化させていくのがよい。今回は、しきい値を70階調から開始し、7

5、80、85、・・・と5刻みで増加させながら二値化し、独立図形数を求めていった。

【0025】各しきい値において、二値化画像中の独立図形を数えるときには、全図形を数えてはいない。まず、あまりにも小さい図形はノイズやエッチング面の凹凸や小さなゴミの場合がほとんどなので、各図形の最も長い径で定義される最長径が0.8μm以下である場合には、その図形を数えないようにする。棒状に近い図形は大きなゴミやエッチング面の傷に対応するので、最長径と同じ直径の真円と比較して体積が73%より小さい図形を数えないようにする。この2つの場合以外の図形のみを独立図形として数える。

【0026】しきい値の変化が上記方向からの場合、エッチビットを除くすべての部分を認識しない範囲から、エッチング面の凹凸を認識するような範囲になるが、この境界は次のように判定した。エッチング面の凹凸を認識するしきい値になると、独立図形数は急激に増加する。この現象を判断するには、図7の二値化画像のようにエッチング面の凹凸を認識すると小さな図形が増加するので、独立図形数よりも、最小面積をとる独立図形数をみた方がよい。よって、最小面積をとる図形数が急激に増加をはじめるしきい値がエッチング面の凹凸を認識しはじめるしきい値となる。画像データでは、最小面積とは、1ドットつまりデータの最小構成要素となる。今回は、最小面積1ドットの図形数が、画像全体の総ドット数の0.05%以下になる範囲をエッチビットを除くすべての部分を認識しない範囲とした。つまり、画像が横512ドット、縦480ドットで構成される場合には、最小図形数が120以下の範囲になる。この範囲の境界は、しきい値を1刻みで変化させて判定した。境界が決定した時点で、しきい値を変化させての二値化は中断する。

【0027】最後に、上記範囲内での図形数の最大値をこの拡大像のエッチビット数とし、このときのしきい値を最適しきい値とする。

【0028】目視による測定と、上記測定方法での実施、およびしきい値を一定にした場合の比較測定を、1枚の<111>GaP円形ウェハについて行ったエッチビット数測定結果の例を表1に示す。ウェハ毎に7箇所測定したが、その測定位置は図8に示してある。このエッチビットの個数を1cm<sup>2</sup>あたりに換算するには、 $4.84 \times 10^{-4}$ で割ればよい。この測定箇所はすべて同一直径上に位置し、測定箇所hおよびnは端から2mmの位置に、h-iおよびm-n間の長さはh-n間の長さの10分の1に、i-j、j-k、k-l、l-m間の長さはh-n間の長さの5分の1になるようにとる。しきい値を固定するつまり一定のしきい値でこれら7点を測定する場合、二値化がすべての測定箇所で行われるようにするので、しきい値を全測定箇所が一番低い

値以下を設定するため、目視と比較してかなりの誤差が生じる。更に円形ウェハの中心部と端部では、エッチビットの大きさが変化（今回測定したウェハでは、h、nでは2～3 $\mu$ m位、kでは15～17 $\mu$ m位）してるために、各測定箇所毎に最適なしきい値がかなり変化する＊

＊ことが大きな誤差の原因となっている。よって、固定しきい値による測定に対して本発明の方法による測定は、誤差が小さいことが判る。

【0029】

【表1】

個数 位置	目視例	本発明例 ( )内は最適 しきい値	本発明例と 目視例との 差	比較例 しきい値は 120で固定	比較例と 目視例との 差
h	21	17 (159)	-6	6	-15
i	82	78 (149)	-4	70	-12
j	108	94 (123)	-14	45	-63
k	23	32 (136)	9	27	4
l	43	47 (139)	4	30	-13
m	28	35 (156)	7	20	-8
n	86	92 (152)	6	82	-4

【0030】

【発明の効果】以上のように、本発明によると、画像処理による半導体単結晶のEPD測定をする場合、第一に測定箇所毎に最適なしきい値を設定する必要がなく、この最適なしきい値は自動的に決定される。第二にエッチビット数をより正確に求めることができる。第三に本発明の方法は自動測定用であるために、作業者を必要とせず、個人差による誤差が生じない。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1はエッチング面の拡大像でエッチビットが重なった場合の例である。

【図2】図2は図1の断面BB'にそって画像の白黒を濃度階調の大小で表わした図である。

【図3】図3のI、II、IIIおよびIVはそれぞれエッチビットの大きさの異なる拡大画像を示した図である。I'、II'、III'およびIV'はI、II、IIIおよびIVの断面CC'、DD'、EE'およびFF'を濃度階調の大小で表わした図である。I'、II'、III'およびIV'中には最適なしきい値の線を示した。

【図4】図4はエッチング面の拡大画像の例である。

【図5】図5は図4の断面AA'にそって画像の白黒を濃度階調の大小で表わした図である。

※【図6】図6は図4の二値化画像である。

【図7】図7はエッチング面の凹凸を認識した場合の二値化画像の例である。

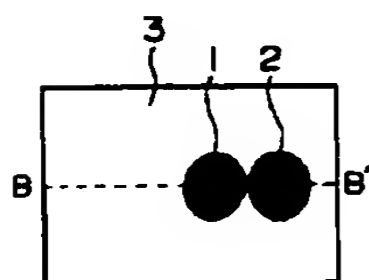
【図8】図8はウェハー上の測定位置を示した図である。

【図9】図9はEPD測定用自動装置概略図である。

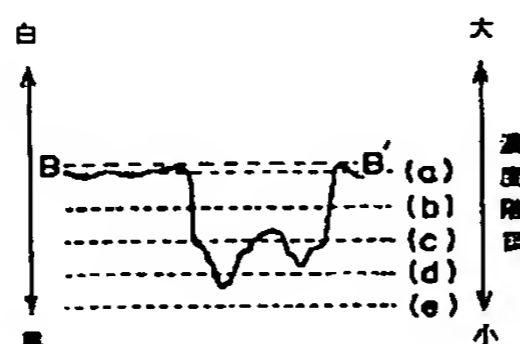
【符号の説明】

- 1 エッチビットを除くすべての部分
- 2 エッチビット
- 3 エッチビット
- 4 ウェハートレイ
- 5 搬送ロボット
- 6 カメラ
- 7 顕微鏡
- 8 ウェハー台
- 9 形状認識センサー
- 10 三次元ステージ
- 11 画像処理用イメージプロセッサ
- 12 ビデオモニター
- 13 コンピュータ
- 14 フロッピーディスク
- 15 プリンター

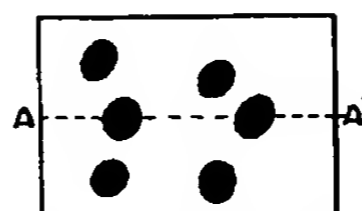
【図1】



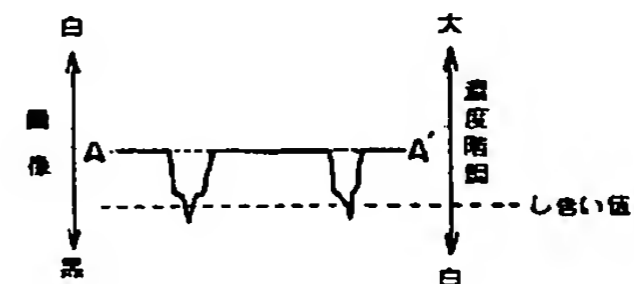
【図2】



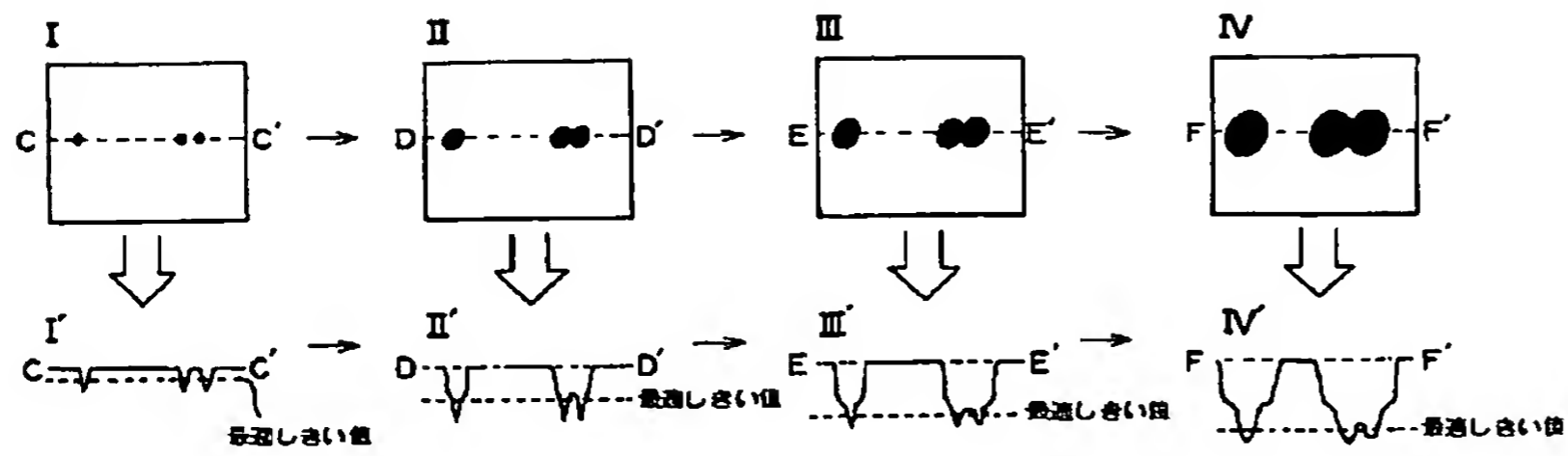
【図4】



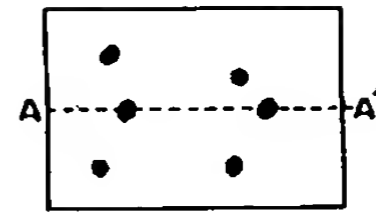
【図5】



【図3】



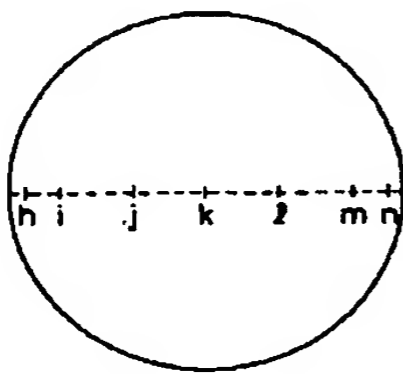
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

